

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

Rec'd PCTO 27 SEP 2004

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003 年 10 月 9 日 (09.10.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/083513 A1

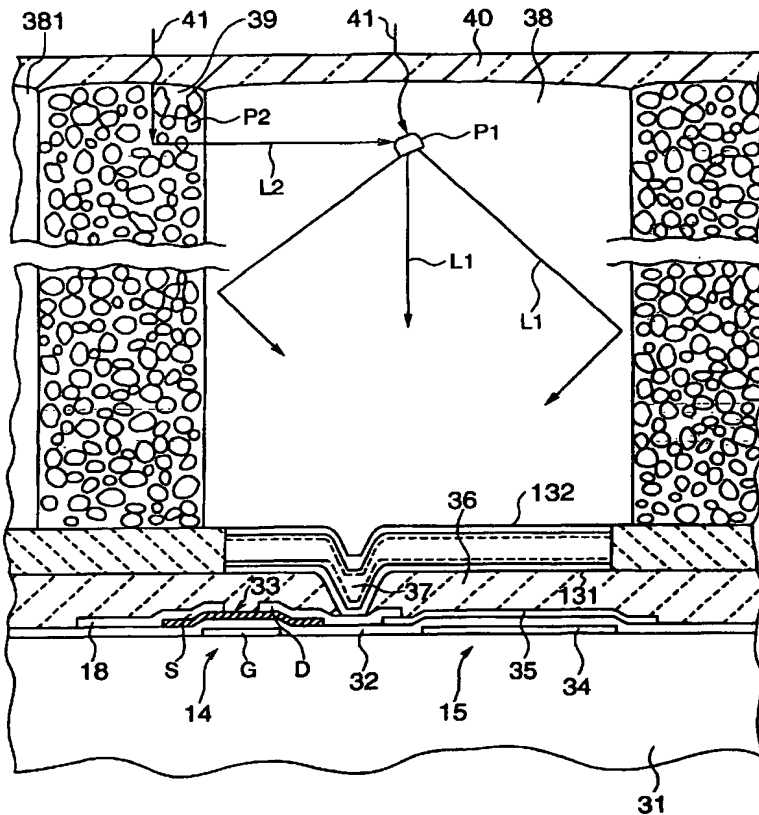
- (51) 国際特許分類⁷: G01T 1/20
- (21) 国際出願番号: PCT/JP03/03952
- (22) 国際出願日: 2003 年 3 月 28 日 (28.03.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2002-091591 2002 年 3 月 28 日 (28.03.2002) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒105-8001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 Tokyo (JP).

- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 伊藤 健一 (ITO, Kenichi) [JP/JP]; 〒230-0074 神奈川県横浜市鶴見区北寺尾 2-8-20-417 Kanagawa (JP). 會田 博之 (AIDA, Hiroshi) [JP/JP]; 〒236-0005 神奈川県横浜市金沢区並木 3-2-7-305 Kanagawa (JP). 小柳津 英二 (OYAIZU, Eiji) [JP/JP]; 〒241-0004 神奈川県横浜市旭区中白根 4-1-2-442 Kanagawa (JP). 福田 幸洋 (FUKUTA, Yukihiro) [JP/JP]; 〒235-0022 神奈川県横浜市磯子区汐見台 3-7-4-319 Kanagawa (JP). 斉藤 昭久 (SAITO, Akihisa) [JP/JP]; 〒247-0051 神奈川県鎌倉市岩瀬 1383-202 Kanagawa (JP). 藤澤 晶子 (FUJISAWA, Akiko) [JP/JP]; 〒211-0068 神奈川県川崎市中原区小杉御殿町 2丁目166-8-306 Kanagawa (JP). 本間 克久 (HOMMA, Katsuhisa) [JP/JP]; 〒239-0835 神奈川県横須賀市佐原 5丁目4番5-308 Kanagawa (JP).

[続葉有]

(54) Title: X-RAY DETECTOR

(54) 発明の名称: X線検出器



(57) Abstract: An X-ray detector comprising scintillator layer (38) separated by a partition (39) for each pixel, and a photodiode (13) for converting fluorescence converted by this scintillator layer (38) into signal charge, wherein, when the average particle size of phosphor particles forming the scintillator layer (38) is D_s and the average particle size of particles constituting the partition (39) D_w , $D_s > D_w$.

(57) 要約: 隔壁39によって画素ごとに分離されたシンチレータ層38とこのシンチレータ層38で変換された蛍光を信号電荷に変換するフォトダイオード13とを具備したX線検出器において、シンチレータ層38を形成する蛍光体粒子の平均粒径を D_s 、隔壁39を構成する粒子の平均粒径を D_w とした場合に $D_s > D_w$ となっている。



(74) 代理人: 須山 佐一 (SUYAMA, Saichi); 〒101-0046 東京都千代田区神田多町 2丁目 1番地 神田東山ビル
Tokyo (JP).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

(81) 指定国 (国内): CN, JP, KR, US.

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

明 細 書

X線検出器

5 技術分野

本発明はX線画像を検出するX線検出器およびその製造方法に関する。

背景技術

近年、新世代の診断用X線検出器として、アクティブマトリックスを用いた平面型のX線検出器が注目を集めている。平面型X線検出器は、
10 X線で撮影したX線画像あるいはリアルタイムのX線透視画像をデジタル信号として出力する構成になっている。

平面型X線検出器は固体検出器であるため、画質性能の向上や安定性の面でも大きい期待が寄せられている。

15 平面型X線検出器は、比較的大きな線量で静止画像を収集する一般撮影用や胸部撮影用のものがすでに開発され、商品化されている。また、透視線量のもとで毎秒30画面以上のリアルタイムのX線動画の検出も可能なことから、近い将来、循環器や消化器などの診断分野に応用した製品の商品化も予想されている。このような動画用のX線検出器の実用
20 化には、S/N比の改善や微小信号のリアルタイム処理技術の一層の改善が必要である。

平面型X線検出器は、大きく分けると直接方式と間接方式の2つの方式がある。

直接方式はa-Seなどの光導電膜を用いてX線を電荷に直接変換し、
25 変換した電荷を電荷蓄積用キャパシターに蓄積する方式である。この方式では、解像度特性は画素ピッチでほぼ規定される。間接方式はシンチ

レータ層でX線を可視光に変換し、変換した可視光をa-SiフォトダイオードやCCDなどの光電変換素子で電荷に変換し、電荷蓄積用キャパシターに蓄積する方式である。

直接方式の平面X線検出器では、X線の吸収率を上げて信号強度を確保するために、例えばa-Seの光導電膜を1mm程度の厚膜で形成している。また、X線フォトン1個当りの光導電電荷生成率を上げるため、生成した光導電電荷が膜中の欠陥準位にトラップされることなく集電電極に到達させるため、そしてバイアス電界と直角方向への電荷の拡散を極力抑えるために、例えばa-Seの光導電膜の両端に $10\text{ V}/\mu\text{ m}$ の強バイアス電界が印加されている。したがって、a-Seの光導電膜の膜厚が1.0mmの場合、10kV程度の高電圧が印加される。

直接方式のX線検出器は解像度特性が優れているという利点があるが、その反面、動作電圧の低いTFTを高電圧から保護しなければならず、信頼性の点で問題がある。また、低暗電流特性と高感度特性、熱的安定性などを備えた光導電材料を容易に入手できないという問題もある。

一方、間接方式のX線検出器は信号電荷の発生にフォトダイオードやCCDなどを用いるため、直接方式におけるような高電圧の印加を必要とせず、高電圧による絶縁破壊の問題はない。また、シンチレータ材料やフォトダイオードなどは基本的な技術が確立しているので製品化が容易であるという利点がある。

しかし、X線診断装置としての解像度特性はシンチレータ層で変換された蛍光が光電変換素子に到達するまでの間に拡散や散乱を起こすため直接方式に較べて一般に劣るという問題がある。特に感度特性を改善するためにシンチレータ層を厚膜にすると、フォトダイオード等の光電変換素子に到達するまでの蛍光の広がりが大きくなって解像度の劣化が顕著となる。この蛍光の広がりを抑えて解像度を確保するために、シンチ

レータ層をフォトダイオードとTFTのマトリックスに合わせて画素単位に形成し、シンチレータ画素間を隔壁で光学的に遮断する方法が知られている。しかし従来のX線検出器における隔壁はX線感度に寄与しない金属材料などで形成されており、このためシンチレータ層から隔壁に置き換えられた分だけシンチレータ層の総発光量が低減してX線検出器の感度が低下するという問題があった。

発明の開示

そこで本発明の目的は、画素間に、解像度特性の劣化を抑えるための隔壁が形成された間接方式のX線検出器において、隔壁の存在による輝度低下をできるだけ小さくしたX線検出器を提供することにある。

また、本発明の他の目的は、かかるX線検出器の製造方法において、輝度の低下をできるだけ小さく抑える隔壁とシンチレータ層の構造を均質かつ信頼性良く形成する方法を提供することにある。

本発明のX線検出器は、画素間に隔壁の形成された間接方式のX線検出器の高い解像度特性を維持しつつ、感度特性を向上させるために、以下の構造を有する。

すなわち、本発明のX線検出器の一つの形態は、画素単位の光電変換部と、前記光電変換部の各画素上に形成された蛍光材料Iを含むシンチレータ画素と、前記シンチレータ画素間に設けた蛍光材料及び／又は非蛍光材料を含む隔壁とを備えたX線検出器において、前記蛍光材料Iの平均粒径を D_s 、前記蛍光材料及び／又は非蛍光材料の平均粒径を D_w としたとき、 $D_s > D_w$ であることを特徴としている。

本発明のX線検出器における画素間の透過光の抑制による解像度の改善は、隔壁が、画素を構成する蛍光材料Iと光学的特性が相違する蛍光材料及び／又は非蛍光材料を含むため、画素と隔壁との界面で屈折や反

射が生じることにより得られる。ここで、光学的特性が異なるとは、具体的には平均粒径が異なるために光学的特性が異なることを意味するが、平均粒径の相違に加えて両蛍光材料の屈折率や分光吸収特性が異なることにより光学的特性が異なることをも意味する。

- 5 本発明の他の態様は、画素単位の光電変換部と、前記光電変換部の各画素上に形成された蛍光材料 I を含むシンチレータ画素と、前記シンチレータ画素間に設けた蛍光材料及び／又は非蛍光材料を含む隔壁とを備えた X 線検出器において、前記シンチレータ画素の膜厚を T_s 、前記シンチレータ画素内における蛍光材料 I の平均粒径を D_s 、前記シンチ
- 10 レータ画素内における蛍光材料 I の体積充填密度を F_s としたとき、 $D_s \geq T_s \cdot F_s / 10$ であることを特徴としている。ここで、例えば体積充填率 50% の場合の (D_s) は 0.5 である。

- 本発明のさらに他の態様は、画素単位の光電変換部と、前記光電変換部の各画素上に形成された蛍光材料 I を含むシンチレータ画素と、前記
- 15 シンチレータ画素間に設けた蛍光材料及び／又は非蛍光材料を含む隔壁とを備えた X 線検出器において、前記隔壁の壁厚を T_w 、前記隔壁内における蛍光材料及び／又は非蛍光材料の平均粒径を D_w 、前記隔壁内における蛍光材料及び／又は非蛍光材料の体積充填密度を F_w としたとき、 $D_w \leq T_w \cdot F_w / 10$ であることを特徴としている。

- 20 このように隔壁内の蛍光材料の粒径とシンチレータ画素の膜厚や隔壁の壁幅との関係を調整することにより、以下のような作用効果により輝度の低下を抑制し、かつシンチレータ膜の光学的な画素分離効果を一層発揮させることができる。

- シンチレータ層内の蛍光体からの蛍光発光は、蛍光体粒と周辺のバインダー又は空気との界面での屈折により散乱されて、その一部がフォト
- 25 ダイオード等の光電変換素子に到達する。蛍光を効率的に光電変換素子

に導く為には、同一体積に占める蛍光体粒と周囲のバインダー等との界面の割合が極力小さい事が望ましい。一方、隔壁に対しては、シンチレータ層からの蛍光に対してトータル反射率を極力高める必要がある。この場合、隔壁に含まれる材料としての粒（蛍光材料及び／又は非蛍光材料）の平均粒径が小さい程望ましい。即ち、隔壁内の粒と周辺のバインダー等との界面の割合が大きい程、複雑な多数回の屈折により隔壁が拡散反射面の効果をより発揮し、実効的な反射率が上昇する。

夫々の層を構成する粒子の平均粒径の関係で示せば、シンチレータ層を形成する蛍光体の平均粒径 D_s が隔壁を構成する粒の平均粒径より大きく ($D_s > D_w$) その比率が大きい程シンチレータ画素の輝度を確保しつつ隣接画素間の光学的な分離効果を高める事ができると考えられる。

蛍光体の自己吸収係数を通常一般的な蛍光体の自己吸収係数レベルで仮定し、粒体を含む層の膜厚を T 、粒体の充填密度を F 、粒の直径を D とした場合の、層の実効反射率と $T \cdot F / D$ との関係を光学モデルでシミュレーションした結果から、 $T \cdot F / D$ の値が 10 程度以上で実効反射率は 90% 以上の高反射率が得られる事が分かった。逆に $T \cdot F / D$ の値が 10 程度以下の場合には 10% 程度以上の蛍光が層を透過して対面側に達する可能性が高い。この関係から、蛍光体から成るシンチレータ層においては、 $T_s \cdot F_s / D_s \leq 10$ (即ち $D_s \geq T_s \cdot F_s / 10$) となる様に蛍光体の粒径を大きくする事が、膜の最上部から発した蛍光を光電変換部まで導く為には特に有効である。隔壁に対しては、 $T_w \cdot F_w / D_w \geq 10$ (即ち $D_w \leq T_w \cdot F_w / 10$) の場合にシンチレータから発した光が隔壁を通して隣接のシンチレータ画素に到達する可能性を抑えて解像度劣化を防ぐ効果が大きい。

繰り返しになるが、シンチレータ画素に含まれる蛍光材料の粒径に関して言えば、蛍光体から発した蛍光や隔壁層から反射して戻ってきた蛍

光、或いは場合により隔壁層の粉体が蛍光体の場合にはその蛍光がフォトダイオード等の光電変換部に到達し易くするためにシンチレータ層の蛍光材料 I の粒径をできるだけ大きくすることが望ましい。これは蛍光体 I とバインダー材料又は空気との界面による蛍光の散乱回数をできるだけ少なくして蛍光がフォトダイオード等の光電変換部に到達するまでの実効的な光路長を極力抑える効果を狙ったものである。さらに、蛍光材料 I を焼結体のようなバインダー等を含まないものとして、蛍光材料とバインダー等との界面での屈折による散乱の頻度を極力抑える事ができる。また、夫々の蛍光材料の自己吸収係数及びバインダー材料等の蛍光に対する吸収係数をできるだけ小さくすることにより、蛍光体材料 I から発した蛍光や隔壁部の蛍光材料からシンチレータ層に入射した蛍光をフォトダイオード等の光電変換部に一層到達し易くすることができる。

一方、隔壁部に含まれる蛍光材料及び／又は非蛍光材料の粒径に関して言えば、隔壁厚さに対して十分小さい粒径である事が良好な解像度特性を確保する為に望ましい。これはシンチレータ画素の蛍光体 I から発した蛍光が多数回散乱されて隣接画素まで達する事を抑える、即ち隔壁部が拡散反射面に近づく効果を狙ったものである。

シンチレータ画素からの蛍光が隣接画素に到達するのを防ぐ効果は隔壁層の実効的な蛍光吸収若しくは反射の程度と関係している。蛍光の吸収率を増大させると実質的な輝度は低下するが、反射率の向上は輝度の低下をもたらさない。隔壁層の実効反射率は、蛍光材料粒子の粒径（針状粉体の場合には短径の最大径）を小さくして蛍光材料とバインダー等の周辺材料との界面での屈折頻度を増やすことにより向上させることができる。粒径を小さくすると完全拡散反射面に近付き隔壁でのトータルの反射率は増大する。

但し蛍光材料及び／又は非蛍光材料の粒径が極端に小さくなって蛍光

波長程度に近付くと散乱効果が小さくなるので、粒径の下限はシンチレータ層の蛍光波長程度までとすることが望ましい。蛍光材料Ⅱからシンチレータ層に入射した蛍光は、蛍光材料Ⅰに吸収されて発光輝度増大に寄与するが、さらに主にシンチレータ層内を通過してフォトダイオードに達して、X線検出器の実効感度も向上させる。

本発明のさらに他の態様は、請求項1乃至4のいずれか1項記載のX線検出器において、前記隔壁は、前記蛍光材料Ⅰの最短蛍光波長と等しいかそれよりも長い最長蛍光波長を有する蛍光材料Ⅱを含有することを特徴としている。

10 従来知られている隔壁構造を有するX線検出器では、隔壁が、例えば金属材料やガラス系又はセラミックス材料、或いは樹脂材料などで形成されており、それ自体がX線照射により発光することはないのは勿論、シンチレータ層の発光を増大させる効果は得られないものであるが、本発明のX線検出器は、シンチレータ層から発せられる蛍光が拡散あるい
15 は散乱して隣接する画素の光電変換素子に到達するのを防ぐための隔壁構造が形成されており、この隔壁構造が画素間の透過光を抑えて解像度を向上させるとともにシンチレータ層の発光輝度の向上に寄与するという特徴を備えている。

すなわち、蛍光材料Ⅱから発する蛍光が蛍光材料Ⅰに達すると蛍光の
20 発光には寄与しないが、蛍光励起に関係する少なくとも最短波長の蛍光発生に関係する電子遷移のグラウンド準位に存在する電子を上位のエネルギー準位に励起する。その結果、蛍光材料Ⅰの蛍光発光遷移に必要なグラウンド準位の電子の空き率が増加する。あるいは、バンド間の不純物準位や欠陥準位が関係する電子遷移を励起する。この結果、蛍光材料Ⅰか
25 らの蛍光がシンチレータ層内を通過する際に、グラウンド準位の電子を励起する確率や、バンド間の準位が関係する電子励起の確率を減じて、蛍

光材料 I からの蛍光のシンチレータ層内での吸収が抑えられる。これによって、金属材料等により形成された隔壁をもつ従来の間接方式の X 線検出器と比べて高い輝度の X 線検出器を得ることができる。

本発明のさらに他の態様は、請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項記載の X
5 線検出器において、前記隔壁は、前記シンチレータ画素内に含まれる蛍光材料 I と光学的特性が相違し、かつ前記蛍光材料 I の最長蛍光励起波長と等しいかそれよりも短い最短蛍光波長を有する蛍光材料 III を含有することを特徴としている。

すなわち、この態様によれば、隔壁に含まれる蛍光材料 III の最短蛍光
10 波長がシンチレータ層に含まれる蛍光材料 I の最長蛍光励起波長よりも短いため、蛍光材料 III から発する蛍光が蛍光材料 I に達して少なくとも最長蛍光励起波長に係るグランド準位から励起準位への電子遷移を増大させ、この結果として蛍光材料 I の発光強度自体が増大する。

蛍光材料 I としては、 Gd_2O_2S 又は CsI を母材とする蛍光材料
15 が適している。

また、蛍光材料 II 又は III としては、 Gd_2O_2S を母材とする蛍光材料が適しており、特に蛍光材料 III は、その最長蛍光波長が紫外領域にあることがより望ましい。

本発明の X 線検出器は、例えば次に挙げる方法により製造することができる。
20

第 1 の方法は、シンチレータ層を先に形成する方法である。蛍光材料 II 及び／又は III 及び／又は非蛍光材料を含む隔壁材料の層を一旦形成した後、シンチレータ画素が形成されるべき部分を、化学反応又は光化学反応を用いて、或いは機械的に又は熱的に除去し、しかる後に除去した
25 部分に蛍光材料 I を充填する方法である。

すなわち、本発明の第 1 の X 線検出器の製造方法は、画素単位の光電

変換部上にシンチレータ画素を形成する工程と、前記シンチレータ画素間に隔壁を形成する工程とを備えたX線検出器の製造方法において、前記画素単位の光電変換部上に蛍光材料Ⅰを含む層を形成する工程と、前記層から隔壁となる部分を除去して前記シンチレータ画素を形成する工程と、前記シンチレータ画素を形成する工程で除去した部分に前記蛍光材料Ⅱ及び／又は蛍光材料Ⅲ及び／又は非蛍光材料を含む材料を充填して前記隔壁を形成する工程とを備えたことを特徴としている。

第2の方法は、第1の方法とは逆に、隔壁層を先に形成する方法である。

すなわち、本発明の第2のX線検出器の製造方法は、画素単位の光電変換部上にシンチレータ画素を形成する工程と、前記シンチレータ画素間に隔壁を形成する工程とを備えたX線検出器の製造方法において、前記画素単位の光電変換部上に蛍光材料Ⅱ及び／又は蛍光材料Ⅲ及び／又は非蛍光材料を含む層を形成する工程と、前記層から画素となる部分（前記隔壁となる部分以外の部分）を除去して前記隔壁を形成する工程と、前記隔壁を形成する工程で除去した部分に前記蛍光材料Ⅰを含む材料を充填して前記シンチレータ画素を形成する工程とを備えたことを特徴としている。

第3の方法は、樹脂材料等の有機材料又は金属材料等の無機材料により形成された仮隔壁を用いる方法で、蛍光材料を含む層の画素形状又は隔壁形状への加工が困難な場合に特に有効な方法である。

すなわち、本発明の第3のX線検出器の製造方法は、画素単位の光電変換部上にシンチレータ画素を形成する工程と、前記シンチレータ画素間に隔壁を形成する工程とを備えたX線検出器の製造方法において、前記画素単位の光電変換部上に樹脂材料等の有機材料又は金属材料等の無機材料により層を形成する工程と、前記層から前記隔壁となる部分を除

去して樹脂材料又は金属材料による仮画素を形成する工程と、前記仮画素を形成する工程で除去した部分に前記蛍光材料Ⅱ及び／又は蛍光材料Ⅲ及び／又は非蛍光材料を含む材料を充填して前記隔壁を形成する工程と、前記仮画素を除去する工程と、前記仮画素を除去した部分に前記蛍光材料Ⅰを含む材料を充填して前記シンチレータ画素を形成する工程とを備えたことを特徴としている。

第４の方法は、樹脂材料等の有機材料又は金属材料等の無機材料などにより形成された仮画素を用いる方法で、この方法も蛍光材料を含む層の画素形状又は隔壁形状への加工が困難な場合に特に有効である。

すなわち、本発明の第４のＸ線検出器の製造方法は、画素単位の光電変換部上にシンチレータ画素を形成する工程と、前記シンチレータ画素間に隔壁を形成する工程とを備えたＸ線検出器の製造方法において、前記画素単位の光電変換部上に樹脂材料等の有機材料又は金属材料等の無機材料により層を形成する工程と、前記層から隔壁となる部分以外の部分を除去して樹脂材料又は金属材料による仮隔壁を形成する工程と、前記仮隔壁を形成する工程で除去した部分に前記蛍光材料Ⅰを含む材料を充填して前記シンチレータ画素を形成する工程と、前記仮隔壁を除去する工程と、前記仮隔壁を除去した部分に蛍光材料Ⅱ及び／又は蛍光材料Ⅲ及び／又は非蛍光材料を含む材料を充填して前記隔壁を形成する工程とを備えたことを特徴としている。なお、一般に画素は一辺が $30 \sim 400 \mu\text{m}$ の正方形又は正方形に近い長方形であり、隔壁の幅は $10 \sim 50 \mu\text{m}$ 程度であり、シンチレータ画素の厚さは $100 \sim 800 \mu\text{m}$ である。用途や検出するＸ線のエネルギーにより必要な膜厚は異なるが、医療用途の一般撮影用や透視用としては、好ましくは $200 \sim 500 \mu\text{m}$ である。

隔壁層やシンチレータ層等の蛍光材料を含む層あるいは樹脂材料や金

金属材料からなる層を部分除去する方法としては、紫外線領域の発光波長を持つレーザー光による光化学的反応を用いた除去、化学的な処理による除去、ダイシングその他の機械的な手段を用いての切削除去、更には赤外線レーザーなどによる高密度の加熱による熱的な除去等の公知の方法を用いることができる。

また、蛍光材料は硬度と結合エネルギーが高いために化学反応や機械加工、或いは熱的又は光化学的な除去がいずれの方法でも難しいが、樹脂材料や金属材料でパターン形成して仮隔壁や仮画素を形成する方法では、このような蛍光材料を除去する工程を省略できるという利点がある。

10 また加工時の蛍光体へのダメージによる発光効率の低下や着色による輝度低下を避けることができる。近年は、数百 μm の厚膜で、アスペクト比10以上の構造を数 μm の精度で形成できる特殊なフォトレジスト材料も市販されている。

従来のX線検出器では、例えば金属材料やガラス系又はセラミックス材料、或いは樹脂材料などで隔壁が形成されており、隔壁自体がX線照射により発光することはないのは勿論、シンチレータ層の発光を増大させる効果も有していない。これに対して本発明のX線検出器では、隔壁層が、シンチレータ層から発せられる蛍光が拡散して隣接する画素の光電変換素子へ到達するのを抑制するとともに、同じ隔壁層がシンチレータ層の発光輝度の増大に寄与する。なお、本発明のX線検出器における隔壁の光の遮蔽効果は、前述したように、隔壁内の蛍光材料Ⅱ又はⅢ又は非蛍光材料を適当な粒径の粉体状とすることにより蛍光材料自体とバインダー材の界面屈折や界面での全反射により得られる。例えばAgやAg系合金などの金属粉体や TiO_2 等の微細な透明セラミックス粉体
25 のような反射材や蛍光を吸収する色素などの樹脂材料を隔壁を構成する非蛍光材料を含有させることによっても実現可能である。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の実施形態を説明するための模式的な回路構成図。

図 2 は、本発明の実施形態を説明するための模式的な断面図で、1 つ
5 の画素単位部分を抜き出した図。

図 3 は、本発明の実施形態を説明するための特性図。

図 4 は、本発明の実施形態を説明するための他の特性図。

図 5 は、本発明の実施形態を説明するための他の特性図。

10 発明を実施するための最良の形態

本発明の実施形態について図 1 の回路構成図を参照して説明する。

符号 1 1 は X 線光電変換部で、X 線光電変換部 1 1 はマトリックス状
に配列した複数の画素単位 1 2 から構成されている。たとえばガラスな
どの絶縁基板上に同じ構造の複数の画素単位 1 2 が行方向（たとえば図
15 の横方向）および列方向（たとえば図の縦方向）の 2 次元に配置されて
いる。図 1 では、たとえば 9 個の画素単位 1 2 a ~ 1 2 i が示されてい
る。

1 つの画素単位たとえば画素単位 1 2 i は、光を電荷に変換するフォ
トダイオード 1 3 およびスイッチング部を構成する薄膜トランジスタ
20 （以下 T F T という）1 4、電荷を蓄積する電荷蓄積部たとえば蓄積
キャパシタ 1 5 などから構成されている。T F T 1 4 はゲート電極 G お
よびソース電極 S、ドレイン電極 D を有し、たとえばドレイン電極 D は
フォトダイオード 1 3 および蓄積キャパシタ 1 5 と電氣的に接続されて
いる。

25 X 線光電変換部 1 1 の外部に、T F T 1 4 の動作状態たとえばオン・
オフを制御する制御回路 1 6 が設けられている。制御回路 1 6 には複数

の制御ライン 17 が設けられている。図では第 1 ないし第 4 の 4 個の制御ライン 171 ~ 174 が設けられている。それぞれの制御ライン 17 は、同じ行の画素単位 12 を構成する TFT 14 のゲート電極 G に接続されている。たとえば第 1 の制御ライン 171 は画素単位 12a ~ 12c のゲート電極 G に接続されている。

列方向には、複数のデータライン 18 が設けられている。図では第 1 ないし第 4 の 4 個のデータライン 181 ~ 184 が設けられている。それぞれのデータライン 18 は、同じ列の画素単位 12 を構成する TFT 14 のソース電極 S に接続されている。たとえば第 1 のデータライン 181 は画素単位 12a、12d、12g のソース電極 S に接続されている。各データライン 17 は対応する電荷増幅器 19 に接続されている。

電荷増幅器 19 はたとえば演算増幅器で構成され、その一方の入力端子 a1 にデータライン 18 が接続され、他方の入力端子 a2 は接地されている。一方の入力端子 a1 と出力端子 b 間にコンデンサ C が接続され積分機能を有する構成になっている。コンデンサ C と並列にスイッチ SW が接続され、たとえばスイッチ SW を閉じてコンデンサ C に残った電荷を放電する構成になっている。

それぞれの電荷増幅器 19 は、並列に入力する複数の電気信号を直列信号に変換して出力する並列／直列変換器 20 に接続されている。並列／直列変換器 20 は、アナログ信号をデジタル信号に変換するアナログデジタル変換器 21 に接続されている。

制御回路 16 や電荷増幅器 19、並列／直列変換器 20、アナログデジタル変換器 21 はたとえば集積回路で形成され、制御回路 16 と TFT 14 間などそれぞれの回路間はたとえばワイヤボンディングで接続される。

次に、X線光導変換部 11 の構成について図 2 を参照して説明する。

図 2 は 1 つの画素単位の部分を抜き出した断面図で、図 1 に対応する部分には同じ符号を付し重複する説明を一部省略する。

ガラスなどの絶縁基板 3 1 上に T F T 1 4 および蓄積キャパシタ 1 5 が形成されている。T F T 1 4 は、絶縁基板 3 1 上に形成されたゲート電極 G およびゲート電極 G を覆う絶縁膜 3 2、絶縁膜 3 2 上に形成された半導体膜 3 3、半導体膜 3 3 上に設けられたソース電極 S、ドレイン電極 D などから構成されている。

T F T 1 4 のゲート電極 G は制御ライン 1 7 (図 1) に接続され、ソース電極 S はデータライン 1 8 に接続されている。

10 蓄積キャパシタ 1 5 は絶縁基板 3 1 上に形成された下部電極 3 4、ゲート電極 G 上から下部電極 3 4 上まで延長する絶縁膜 3 2、絶縁膜 3 2 上に設けられた上部電極 3 5 などから構成されている。上部電極 3 5 はドレイン電極 D と電氣的に接続されている。

T F T 1 4 および蓄積キャパシタ 1 5 の上方に絶縁層 3 6 が設けられ、
15 絶縁層 3 6 上にフォトダイオード 1 3 が形成されている。フォトダイオード 1 3 は、a - S i の p n ダイオードや P I N ダイオードなどで形成される。図の場合は P I N ダイオードで形成されている。フォトダイオード 1 3 の図示下方および上方にそれぞれ第 1 電極 1 3 1 および第 2 電極 1 3 2 が設けられ、第 1 電極 1 3 1 と第 2 電極 1 3 2 間にバイアス
20 電圧が印加される。第 2 電極 1 3 2 はスパッタリング法などで成膜した I T O 透明導電膜で形成されている。絶縁層 3 6 の一部にスルーホール 3 7 が設けられ、フォトダイオード 1 3 の第 1 電極 1 3 1 はスルーホール 3 7 を介して T F T 1 4 のドレイン電極 D と電氣的に接続されている。第 2 電極 1 3 2 上に X 線を光に変換するシンチレータ層 3 8 が形成され
25 ている。

シンチレータ層 3 8 を囲む周縁領域たとえば隣接する画素単位のシン

チレータ層 3 8 1 との境界に隔壁層 3 9 が形成され、隣接する画素単位のシンチレータ層どうしは隔壁層 3 9 で遮断されている。シンチレータ層 3 8 および隔壁層 3 9 にはそれぞれ蛍光材料 I (P 1) および蛍光材料 II (P 2) が含まれ、蛍光材料 I (P 1) および蛍光材料 II (P 2) は、平均粒径又は平均粒径と他の光学的特性たとえば発光スペクトルや屈折率、反射率などの 1 つあるいは複数の特性が相違している。また、シンチレータ層 3 8 および隔壁層 3 9 上に、光を反射する蛍光反射層 4 0 が X 線光導変換部 1 1 の全面にわたってたとえば共通に形成されている。

- 10 上記した構成において、蛍光反射層 4 0 を通してシンチレータ層 3 8 および隔壁層 3 9 に X 線 4 1 が入射し、シンチレータ層 3 8 および隔壁層 3 9 で光に変換される。シンチレータ層 3 8 で発生した光 L 1 は、隔壁層 3 9 から入力する光 L 2 の作用で強められ、あるいは減衰が抑えられ、あるいは隔壁層 3 9 との境界などで反射し、シンチレータ層 3 8 から
- 15 フォトダイオード 1 3 に入力し、電荷に変換される。この電荷は蓄積キャパシタ 1 5 に蓄積される。

- 蓄積キャパシタ 1 5 に蓄積した電荷の読み出しは制御回路 1 6 によって制御され、たとえば画素単位 1 2 の行 (図 1 の横方向) ごとに順に行われる。まず、制御回路 1 6 から第 1 のゲートライン 1 7 1 を通して第
- 20 1 行目に位置する画素単位 1 2 a ~ 1 2 c のゲート電極 G に、たとえば 1 0 V のオン信号を加え、第 1 行目の画素単位の T F T 1 4 をオン状態にする。

- このとき、第 1 行目の画素単位 1 2 a ~ 1 2 c の蓄積キャパシタ 1 5 に蓄積された電荷が、ドレイン電極 D からソース電極 S に電気信号として出力される。ソース電極 S に出力した電気信号はそれぞれ複数の電荷増幅器 1 9 で増幅される。増幅された電気信号は並列/直列変換器 2 0
- 25

に並列に加えられ、直列信号に変換される。その後、アナログデジタル変換機 21 でデジタル信号に変換され、次段の信号処理回路（図示せず）に送られる。

第 1 行目に位置する画素単位の蓄積キャパシタ 15 の電荷の読み出しが終了すると、制御回路 16 から第 1 ゲートライン 171 を通して第 1 行目の画素単位のゲート電極 G にたとえば -5 V のオフ信号が加えられ、第 1 行目の画素単位の T F T 14 をオフ状態にする。

上記した動作が第 2 行目以下の画素単位 12 についても順に行われる。そして、すべての画素単位 12 の蓄積キャパシタ 15 に蓄積した電荷の読み出しが行われ、順次、デジタル信号に変換されて出力され、1 つの X 線画面に対応する電気信号がアナログデジタル変換器 20 から出力される。

図 1 の場合、フォトダイオード 13 は T F T 14 や蓄積キャパシタ 15 に重ならない領域に形成されている。しかし、広い受光面積を確保するために、たとえば T F T 14 および蓄積キャパシタ 15 上に絶縁層を設け、1 つの画素内のより広い領域にフォトダイオード 13 を形成することもできる。

そして、隔壁 39 を形成する粒子の平均粒径を D_w 、隔壁 39 内の粒子の充填密度を F_w とした場合、 $T_w \cdot F_w / 10 \geq D_w$ の関係に形成している。また、シンチレータ層 38 内の蛍光体の平均粒径を D_s 、シンチレータ層 38 の膜厚を T_s 、シンチレータ層 38 内の蛍光体粒子の充填密度を F_s とした場合、 $T_s \cdot F_s / 10 \leq D_s$ の関係に形成している。さらに、シンチレータ層 38 を形成する蛍光体粉末の平均粒径を D_s 、隔壁 39 を形成する材料の平均粒径を D とした場合、 $D_s > D_w$ の関係にしている。

上記した構成において、外部から X 線 40 がシンチレータ層 38 に入

射し蛍光に変換される。蛍光の一部 A 1 はシンチレータ層 3 8 を移動し
フォトダイオード 1 3 に入力する。蛍光の一部 A 2 は隔壁 3 9 に侵入し、
その一部 A 2 1 はシンチレータ層 3 8 に戻りフォトダイオード 1 3 に入
力する。また隔壁 3 9 に侵入した蛍光の一部 A 2 2 は隔壁 3 8 内を移動
5 する。また、蛍光の一部 A 3 は隔壁 3 9 で反射し、シンチレータ層 3 8
内を移動する。

ここで、粒体で形成した層の膜厚を T 、粒体の充填密度を F 、粒の直
径を D とした場合、 $(T \cdot F / D)$ の値と蛍光に対する層の実効透過率
との関係について光学モデルでシミュレーションした結果を図 3 を参照
10 して説明する。図 3 は TiO_2 の層を $20 \mu m$ の膜厚に形成した場合で、
図の (a) は粒径 (μm) および $(T \cdot F / D)$ 、反射率 (%)、透過
率 (%) の関係を示した図、図の (b) は $(T \cdot F / D)$ と透過率

(%) の関係をグラフで表示した図である。図 3 (b) の横軸は $(T \cdot F / D)$ の値、縦軸は透過率 (%) で、シミュレーション結果を曲線 P
15 で示す。

図 3 から分かるように、 $(T \cdot F / D)$ の値がほぼ 10 以上になると
実効透過率は 10 % 以下となり、ほとんどの蛍光を反射する。逆に
 $(T \cdot F / D)$ の値がほぼ 10 以下になると実効透過率が高くなり、1
0 % 程度以上の蛍光が透過する。上記の実施形態では、隔壁 3 9 部分に
20 ついて $T_w \cdot F_w / 10 \geq D_w$ 、すなわち $T_w \cdot F_w / D_w \geq 10$ の関
係になっている。したがって、シンチレータ層 3 8 で発光した蛍光は隔
壁 3 9 によって 90 % 以上の高反射率で反射される。この場合、隔壁 3
9 内に侵入する蛍光の量が減少し、隔壁 3 9 内での光ガイド効果が発生
しない、その結果、蛍光の損失が少なくなり、シンチレータ画素ごとの
25 輝度が向上する。また、シンチレータ層 3 8 から隔壁 3 9 に侵入した蛍
光が透過しないため、隔壁 3 0 を通り抜けて隣接する画素のシンチレー

タ層やフォトダイオードに到達する蛍光が減少し、解像度の劣化が防止される。

また、上記の実施形態は、シンチレータ層 38 の部分について $T_s \cdot F_s / 10 \leq D_s$ 、すなわち $T_s \cdot F_s / D_s \leq 10$ の関係とし、
5 体の粒径を大きくしている。この場合、シンチレータ層 38 内の実効透過率が高くなり、たとえばシンチレータ層 38 の最上部で発光した蛍光が光電変換部に透過する割合が 10% 以上となる。

また、シンチレータ層 38 内で発生した蛍光は、蛍光体粒とその周囲に位置するバインダーとの界面における屈折で複雑に散乱して、光電変
10 換素子たとえばフォトダイオード 13 に到達する。したがって、蛍光を発光素子に効率的に導くためには、同一体積に占める蛍光体粒とバインダーなどとの界面の割合が小さい方がよい。

一方、隔壁 39 については、シンチレータ層 38 から侵入する蛍光に対して全体の反射率を高める必要があり、隔壁 39 を構成する粒は平均
15 粒径が小さい方がよい。平均粒径が小さいと、粒とバインダーなどとの界面の割合が大きくなり、複雑な多数回の屈折が生じる。その結果、拡散反射面の効果が大きくなり、隔壁 39 による実効的な反射率が上昇する。

ここで、 (D_s / D_w) の値と画素単位の輝度特性との関係について
20 図 4 を参照して説明する。図の (a) は (D_s / D_w) と輝度 (a r b · u n i t s) の関係を示した図で、図の (b) はこの関係をグラフ Q に表示した図である。図 4 (b) の横軸は (D_s / D_w) の値、縦軸は輝度である。

この場合、シンチレータ層は、エポキシ樹脂内に蛍光体粉末 ($G d_2$
25 $O_2 S : T b$) を分散させた塗液を用いて、光電変換部上に $300 \mu m$ の膜厚に塗布し、その後、 $80^\circ C$ に加熱して膜を乾燥、硬化させて形成

した。その後、間隔が $150\ \mu\text{m}$ 、深さが $280\ \mu\text{m}$ 、幅が $23\ \mu\text{m}$ の格子状溝を、ダイシング法によってシンチレータ層の部分に形成し、その溝にシンチレータ層の蛍光体粉末と同一で粒径が $2\ \mu\text{m}$ の蛍光体粉末を充填して隔壁を形成した。

- 5 図4に示すように、 $D_s/D_w = 1$ の場合、輝度は 14.3 となっている。 $D_s > D_w$ の場合、たとえば $D_s/D_w = 1.5$ では、輝度はその2倍の 30 に向上している。

上記の実施形態の場合、シンチレータ層38を形成する蛍光体の平均粒径 D_s と、隔壁39を構成する粒の平均粒径 D_w との関係を $D_s > D_w$ にしている。したがって、シンチレータ層38の蛍光が効率的に光電変換素子に到達し、シンチレータ層38の画素ごとの輝度劣化が防止される。また、隔壁39による反射効果が大きくなり、隣接する画素間の光学的な分離効果が向上する。この分離効果は、 D_s と D_w の差が大きいほど顕著になる。

- 15 なお、上記の実施形態では、シンチレータ層を粒子状の蛍光体で形成している。しかし、蛍光体の焼結体で形成しても同様な効果が得られる。たとえば焼結体のクラスターの平均粒径 D_c は $80 \sim 100\ \mu\text{m}$ で、隣接する光電変換素子たとえばフォトダイオード間の距離は、一般に、 $50\ \mu\text{m}$ 以下となっている。したがって、隔壁の壁幅は最大でも $50\ \mu\text{m}$ 程度で、 $D_c > D_w$ の条件が満たされる。この場合も、 D_c と D_w の差が大きいほど画素ごとの輝度特性が向上する。

次に、シンチレータ層38に含まれる蛍光材料I (P1) および隔壁層39に含まれる蛍光材料II (P2) の蛍光波長の選択による輝度改善効果について説明する。

- 25 蛍光材料Iには、蛍光波長が所定の範囲に分布する光を発生するたとえば $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S} : \text{Tb}$ が用いられ、蛍光材料IIには、蛍光材料Iの蛍

光波長のうちその一番短い波長と等しいかそれよりも長い波長成分を有する蛍光波長の光を発生する蛍光材料が用いられる。たとえば $Gd_2O_2S : Eu$ (4重量%) など、この場合、たとえば平均粒径が $2 \mu m$ 程度の小さな粒径のものが用いられる。

- 5 この組み合わせの場合、シンチレータ層 38 で発生した光 L1 は、隔壁層 39 の蛍光材料 II が発生する光 L2 の作用により、シンチレータ層 38 内での減衰が小さく抑えられてフォトダイオード 13 に入力し輝度が上昇する。

- 10 この構成の場合、隔壁に含まれる蛍光材料 II の最長蛍光波長がシンチレータ層に含まれる蛍光材料 I が発生する蛍光波長のうちその最も短い波長より大きくなっている。したがって、蛍光材料 II から発する蛍光 L2 がシンチレータ層 38 に進入すると、蛍光材料 I の蛍光励起には寄与しないが、蛍光励起に係る電子遷移のグラント準位に存在する電子を上位の不純物準位や蛍光発生に関係しない上位のエネルギー準位に励起する。
- 15 その結果、蛍光材料 I の蛍光発光遷移に必要なグラント準位の電子の空き率が増加する。これによって、蛍光材料 I の X 線蛍光発光効率が増大する。あるいは、蛍光 L2 が蛍光材料 I のバンド間の不純物準位や欠陥準位が関係する電子遷移を励起するときには、蛍光材料 I からの蛍光 L1 がシンチレータ層内を通過する際に、グラント準位の電子を励起
- 20 して吸収される確率や、バンド間の準位が関係する電子励起により吸収される確率を減じて、蛍光材料 I からの蛍光 L1 のシンチレータ層 38 内での自己吸収が抑えられる。これらの結果として輝度の向上が期待できる。

- 25 また蛍光材料 II から発した蛍光 L2 で前記の蛍光材料 I への輝度向上効果を生じなかったものも、シンチレータ層内を何回か反射して、その一部が検出器に達しシンチレータ層の輝度向上に寄与する。

上記の場合、蛍光材料Ⅰには、 $Gd_2O_2S : Tb$ の他に $Gd_2O_2S : Eu$ 等の添加材の異なるもの、 Gd_2O_2S や La_2O_2S 、 Lu_2O_2S 等の希土類セラミックス系材料を母材としたX線用蛍光体、 $CsI : Tl$ 、 $CsI : Na$ 等の沃化物系のX線用蛍光体あるいは $CaWO_4$ 、 $LaOBr : Tm$ 、 $LaOBr : Tb$ 等のX線用蛍光体などが用いられる。

また、蛍光材料Ⅱには $Gd_2O_2S : Eu$ の他、 $Gd_2O_2S : Pr$ や $Gd_2O_2S : Tb$ 等の添加材の異なるもの、 Gd_2O_2S や La_2O_2S 、 Lu_2O_2S 等の希土類セラミックス系材料を母材としたX線用蛍光体あるいは $ZnCdS : Ag$ 等の硫化物系蛍光体などが用いられる。

蛍光材料Ⅰおよび蛍光材料Ⅱを選択する場合に、実用上望ましくは、例えば両者の蛍光発光スペクトルなどを考慮し、蛍光材料Ⅱには蛍光材料Ⅰの主蛍光波長と同程度かそれよりも長い主蛍光波長を有する蛍光材料が用いられる。例えば蛍光材料Ⅰに主蛍光波長が540nm前後の $Gd_2O_2S : Tb$ を用いる場合には蛍光材料Ⅱには主蛍光波長が640nm前後の $Gd_2O_2S : Eu$ が用いられる。

しかし、蛍光材料Ⅱの主発光波長が必ずしも蛍光材料Ⅰの主発光波長より長い必要は無く、蛍光材料Ⅱの発光スペクトルの少なくとも一部が蛍光材料Ⅰの最短発光波長よりも長ければ前述したメカニズムから輝度向上効果が期待できる。前述の例と逆の組み合わせになるが、例えば蛍光材料Ⅰに $Gd_2O_2S : Eu$ を用い、蛍光材料Ⅱに $Gd_2O_2S : Tb$ を用いた場合にも、蛍光材料Ⅱの $Gd_2O_2S : Tb$ が発光する380nm前後から680nm前後までの蛍光L2のうち500nm程度以上の蛍光スペクトルが、最短発光波長500nm程度の蛍光材料Ⅰの $Gd_2O_2S : Eu$ の蛍光発光効率を増大させる。

隔壁に含まれる蛍光材料Ⅱが画素部に含まれる蛍光材料Ⅰと同じ蛍光

体種の場合、例えばどちらも $Gd_2O_2S : Tb$ 、或いは $Gd_2O_2S : Eu$ 、 La_2O_2S 、 Lu_2O_2S 等の同じ蛍光体種系の場合も同様な効果が期待できる。

また、蛍光材料で隔壁を構成した場合には、次の構成でもシンチレータ画素の輝度が向上する。すなわち、隔壁層に含有される蛍光材料Ⅲの発光スペクトルがシンチレータ層 38 に含有される蛍光材料Ⅰの蛍光励起波長を含む場合、蛍光材料Ⅲから発する蛍光 L_2 が蛍光材料Ⅰに達して少なくとも最長蛍光励起波長に対応するグランド準位から励起準位への電子遷移を増大させ、この結果として蛍光材料Ⅰの発光強度自体が増大する。この構成においてシンチレータ層 38 に含有される蛍光材料Ⅰの最長蛍光波長と等しいか又はこれよりも短波長側の蛍光発光スペクトルを有する蛍光材料Ⅲを隔壁に含有した場合が該当する。特に蛍光材料Ⅲの主発光波長が蛍光材料Ⅰの主発光波長よりも短い場合に輝度改善効果は一層大きいものとなる。蛍光材料Ⅰとしては例えば、 $Gd_2O_2S : Eu$ や $Gd_2O_2S : Pr$ 等の他に Gd_2O_2S 系で添加物の異なるもの、更に La_2O_2S 、 Lu_2O_2S 等の希土類セラミックス系材料を母材とし、 Eu 、 Tb 等の添加物を含有した X 線用蛍光体などが好適である。

蛍光材料Ⅲには、 $Gd_2O_2S : Tb$ の他に $Gd_2O_2S : Eu$ 等の添加材の異なるもの、更に Gd_2O_2S や La_2O_2S 、 Lu_2O_2S 等の希土類セラミックス系材料を母材とした X 線用蛍光体、或いは $ZnCdS : Ag$ 、 $ZnS : Ag$ 、 $ZnS : Cu$ 等の硫化物系蛍光体、或いは $CsI : Tl$ 、 $CsI : Na$ 等の沃化物系の X 線用蛍光体、 $CaWO_4$ 、 $LaOBr : Tm$ 、 $LaOBr : Tb$ 等の X 線用蛍光体などが用いられる。

蛍光材料Ⅰと蛍光材料Ⅲが同一蛍光体種の場合には、蛍光材料Ⅰの発

光スペクトルの各スペクトル成分に対して当該各スペクトル成分より短波長側の蛍光材料Ⅲの発光スペクトル成分が蛍光材料Ⅰの蛍光励起に寄与して蛍光材料Ⅲの発光輝度向上に効果がある。

また蛍光材料Ⅲから発した蛍光L2で前記の蛍光材料Ⅰへの輝度向上
5 効果を生じなかったものも、シンチレータ層内を乱反射してその一部が検出器に達しシンチレータ層の輝度向上に寄与することは先に説明した第1のメカニズムの場合と同様である。

なお、蛍光材料Ⅰを励起する蛍光波長をもつ蛍光材料Ⅲとしては、 $ZnS:Ag$ の他、 $CaWO_4$ や $LaOBr:Tb$ 、 $BaSO_4:Eu$ な
10 どのX線用蛍光体が用いられる。

この場合も、蛍光材料Ⅲの選定にあたっては、蛍光材料Ⅰの蛍光励起スペクトルおよび蛍光材料Ⅲの蛍光発光スペクトルなどを考慮し、例えば蛍光材料Ⅰの蛍光励起波長と同程度、あるいはそれよりも短い波長成分の光を発生するX線蛍光体が用いられる。

15 なお、シンチレータ層に含まれる蛍光材料Ⅰには、X線吸収率およびX線から蛍光への変換効率が高く、蛍光の自己吸収が小さい透明度の高い蛍光材料が望ましい。例えば Gd_2O_2S を母材とする蛍光体あるいは CsI を母材とする蛍光体が有効である。 Gd_2O_2S を母材とする蛍光体は、粒径の制御が比較的容易な粉体で、また湿気に対しても、化学
20 学的にも安定で、シンチレータ層の製造にも適している。

蛍光材料Ⅰの選択には、使用するX線に対するその蛍光体の発光効率だけではなく、蛍光波長とフォトダイオードの分光感度特性との整合性も考慮することが望ましい。例えば、分光感度特性のピークが600nm台にある $a-Si$ フォトダイオードを検出器とする場合、 $Gd_2O_2S:Tb$ （主発光波長545nm）に対して発光効率で劣る $Gd_2O_2S:Eu$ （主発光波長630nm）がフォトダイオードの検出出力では
25

同等か若干大きい値を示す。総合的には、 $Gd_2O_2S : Eu$ 、 $Gd_2O_2S : Tb$ 、 $CsI : Tl$ 等が好適な蛍光材料である。

また、隔壁層に含有される蛍光材料Ⅱとしては、例えばシンチレータ層に含有する蛍光材料を $Gd_2O_2S : Tb$ とした場合、その最短蛍光波長は370nm程度であることから、最長蛍光波長が370nm以上で前記の条件を満足する $Gd_2O_2S : Tb$ 、 $Gd_2O_2S : Pr$ 、 $Gd_2O_2S : Eu$ 、 $CsI : Tl$ 、等が有効である。

隔壁層に含まれる蛍光材料Ⅲには、例えばシンチレータ層に含有する蛍光材料Ⅰが $Gd_2O_2S : Eu$ （主発光波長630nm）の場合には、その主発光波長成分の励起波長が概ね630nm以下であることから、630nm以下に主要蛍光発光成分を有する $Gd_2O_2S : Tb$ や $BaFCl : Eu$ 、 $LaOBr : Tb$ 、 $Y_2O_2S : Tb$ 、 $ZnS : Ag$ 、 $(Zn, Cd)S : Ag$ 等のX線用蛍光体が好適である。

また、蛍光材料Ⅰを励起する蛍光材料Ⅲには、最長の蛍光波長が紫外領域にある蛍光材料が有効となる。例えば、シンチレータ層が厚くなると、隔壁層で発生した光が隣接する画素のシンチレータ層を超えて、さらにその先のシンチレータ層まで到達し、解像度を低下させる場合がある。

隔壁層に含有する蛍光材料Ⅲの蛍光波長が紫外領域にあるために、可視光以上の長波長蛍光に較べてシンチレータ層内で吸収が大きく、隣接するシンチレータ画素を超えてこの紫外蛍光が到達する可能性が極めて小さい。特に膜厚が厚い場合には隣接画素を超えての蛍光の発散による解像度低下を生じやすく、本発明の有効性が増す。

隔壁層内の蛍光材料Ⅲとしては、上記の蛍光材料Ⅰを励起する蛍光波長成分を有する蛍光材料および最長の蛍光波長が紫外領域にある蛍光材料を混合したものを使用することもできる。この場合、両者の配合率に

応じてそれぞれのメカニズムにより輝度の向上効果が実現される。

ここまでに説明した構成によれば、隔壁層に含まれる蛍光材料Ⅱ又はⅢが発生した光はシンチレータ層内の蛍光材料Ⅰが発生した光の減衰を抑え、または、蛍光材料Ⅰが発生する光を強めている。このとき、
5 材料Ⅱ又はⅢが発生した光の一部は、シンチレータ層内を通過してフォトダイオードに達し感度の上昇にも寄与する。

このような感度上昇の効果を上げるためには、シンチレータ層の蛍光材料Ⅰの粒径は大きい方が望ましい。例えば隔壁層の粒径よりも大きな粒径とし、あるいは焼結した一体化構造とし、蛍光材料とバインダーな
10 どの周辺材料との界面の屈折による散乱を極力抑えた方が効果が大きくなる。また、それぞれの蛍光材料の自己吸収係数およびバインダー材料のそれぞれの蛍光に対する吸収係数は小さい方が望ましい。

上記した構成は、隔壁層内の蛍光材料の粒径を小さくすれば画素分離効果が顕著となり、いわゆる解像度が改善する。

15 例えば蛍光材料の粒径（蛍光材料が針状紛体の場合は針の直径）を小さくすると、蛍光材料とバインダーなどの周辺材料との界面での屈折頻度が増加する。また、粒径が小さいと、完全拡散反射面に近い状態となり反射率が増大する。その結果、シンチレータ層で発生した光の隣接する画素単位のシンチレータ層への到達が防止され、画素分離効果が大き
20 くなる。

この場合、シンチレータ層間に挟まれた隔壁層の壁幅方向に、例えば最低4個程度の蛍光材料の粒子を配列すれば有効な反射効果が実現される。この時、隔壁層に含まれる蛍光材料Ⅱ又はⅢの平均粒径が ϕ 、体積充填率がDの場合、平均粒径 ϕ を体積充填率Dで除した値（ ϕ/D ）隔
25 壁層の幅の1/2以下にすれば十分に有効な反射効果が得られる。蛍光材料の粒径が極端に小さくなり、その粒径がシンチレータ層で発生する

蛍光波長に近い大きさになると散乱効果が小さくなる。従って粒径の下限は、シンチレータ層の蛍光材料 I が発生する最短の蛍光波長程度となる。

次に、上記した構成の X 線検出器の製造方法について説明する。

- 5 まず、絶縁基板 3 1 上に光電変換部例えば T F T 1 4 および蓄積コンデンサ 1 5、フォトダイオード 1 3 などをそれぞれ画素単位に形成する。

次に、シンチレータ層 3 8 を構成する $G d_2 O_2 S : T b$ などの蛍光材料 I とエポキシなどの樹脂材料とを混合した材料を、例えばマトリクス状に形成された複数のフォトダイオード 1 3 などの上部に、 $400 \mu m$ の厚さで塗付してシンチレータ膜を形成し、その後、焼成し固化する。

10

次に、ダイシング法などを用いてシンチレータ膜を加工し、隔壁層 3 9 が設けられる部分に溝を形成する。このとき、フォトダイオード 1 3 や T F T 1 4 の配置に合わせて、 $150 \mu m$ のピッチで幅 $25 \mu m$ の溝を形成し、画素単位に分離したシンチレータ層 3 8 が形成される。

- 15 次に、蛍光材料 II 又は III、例えば平均粒径が $2 \mu m$ の $G d_2 O_2 S : E u$ の小粒径や平均粒径が $2 \mu m$ の $Z n S : A g$ の粉体と P V B（ポリビニルブチラル）とを混合した材料を酢酸ブチルで溶かしたスラリー状の充填材を、溝の部分に沈殿法等により充填し、乾燥させ、その後、表面に残った充填材を研磨などで除去し隔壁層 3 9 を形成する。

- 20 次に、微粒子粉体の $T i O_2$ と樹脂バインダーとを混合した材料を、画素ごとに分離して形成された複数のシンチレータ層 3 8 および隔壁層 3 9 の表面に塗布し、蛍光反射膜 4 0 を形成する。

なお、蛍光反射膜 4 0 は、その他の透明なセラミックスの微粒子粉体や蛍光体の微粉末で形成することもできる。良好な平坦性が得られれば

25 メタル膜で形成することもできる。

また、湿気などによるシンチレータ層 3 8 の変質を防ぐ場合は、X 線

検出器の主要部を、A 1 やプラスチックなどの外囲器で覆って真空封止し、あるいは、外囲器内に乾燥気体が封入される。

上記した製造方法の場合、まずシンチレータ層 3 8 を形成し、その後、隔壁層 3 9 を形成している。しかし、隔壁層 3 9 を形成した後にシンチレータ層 3 8 を形成することもできる。例えば蛍光材料 II 又は III を含む材料で隔壁膜を形成し、その後、シンチレータ層 3 8 となる部分の隔壁膜を除去し、この除去した部分に、蛍光材料 I を含むシンチレータ材料を充填する方法である。

ここで、シンチレータ層 3 8 および隔壁層 3 9 を形成する他の方法について説明する。まず、成形が容易な樹脂材料または金属材料からなる予備膜をフォトダイオードなどの上部に形成する。次に、隔壁層 3 9 (またはシンチレータ層 3 8) となる部分の予備膜を除去し、その除去した部分に隔壁層 3 9 (またはシンチレータ層 3 8) となる蛍光材料を充填する。次に、先の工程で除去されずに残った予備膜のパターンを選択的に除去し、予備膜が選択的に除去された部分にシンチレータ層 3 8 (または隔壁層 3 9) となる蛍光材料を充填する方法である。

蛍光材料は、無機材料で硬度が高く結合エネルギーが高い。そのため、化学反応や機械加工、熱的、光化学的な方法では、シンチレータ膜や隔壁膜を部分的に除去するパターンニング加工が困難な場合がある。このような場合、樹脂材料や金属材料からなる予備膜を形成する方法が有効となる。また、加工時の蛍光体へのダメージによる発光効率の低下や着色による輝度低下を抑えるメリットもある。

シンチレータ膜や隔壁を部分的に除去して溝を形成しパターン化する方法としては、ダイシング法その他、紫外領域のレーザーによる光化学分解を用いる方法や赤外領域のレーザーによる加熱分解を用いる方法、バインダー材料を化学的に溶解するエッチング法などを利用することでも

きる。

また、上記の実施形態では、画素単位ごとに形成された複数の光電変換部上にシンチレータ層および隔壁層を順に形成している。しかし、シンチレータ層および隔壁層を別の基板上に形成し、その後、これらシンチレータ層および隔壁層を光電変換部上に接合する方法を用いることもできる。

ここで、本発明の実施例と比較例との特性の測定結果を表 1 に示す。

なお、表 1 中の各特性は次の方法により測定したものである。

< 相対感度 >

10 ガラス基板上に TiO_2 微粉を樹脂にねりこんで塗布した反射層を形成し、その上に各シンチレータ層及び隔壁層を $300\text{ }\mu\text{m}$ の厚さで形成して特性評価用のサンプルを得た。基盤の目状に画素分離した膜の画素間ピッチは $150\text{ }\mu\text{m}$ で、隔壁幅は約 $20\text{ }\mu\text{m}$ 幅で形成した。各サンプルは研磨により表面を平坦化し、光学ジェルを介して分光感度特性が
15 $600\sim 700\text{ nm}$ である a-Si (アモルファスシリコン) フォトダイオードアレイに密着させ、この a-Si フォトダイオードの感度出力を平均化して感度評価の指標とした。

< MTF (解像度特性) >

感度特性測定用と同様にサンプル作成し、 $50\text{ }\mu\text{m}$ 以下の幅のスリット状ラインを開けた鉛板チャートを介して X 線の透過像を測定し、その X 線透過像の広がりから Line Spread Function を測定する。この Line Spread Function をフーリエ変換することにより空間周波数 (Spatial Frequency) に対する MTF (Modulation Transfer Function) を計算した。

25 < 蛍光材料の平均粒径 >

適当な断面を数箇所割って SEM 観察し、SEM 画像の各蛍光材料粒

子の面積から実効粒径を求めてこれらを平均する。

[表 1]

サ ン プ ル	シンチレータ層		隔壁層		特性	
	蛍光体	平均 粒径	蛍光体	平均 粒径	相対感度	MTF (2Lp/mm)
1	Gd ₂ O ₂ S:Tb	15 μm	Gd ₂ O ₂ S:Eu	2 μm	0.83	80%
2	Gd ₂ O ₂ S:Tb	15 μm	Gd ₂ O ₂ S:Tb	2 μm	0.84	80%
3	Gd ₂ O ₂ S:Tb	15 μm	CaWO ₄	2 μm	0.82	80%
4	Gd ₂ O ₂ S:Tb	15 μm	YT ₂ O ₄	2 μm	0.86	80%
*5	Gd ₂ O ₂ S:Tb	15 μm	TiO ₂	2 μm	0.75	80%
*6	Gd ₂ O ₂ S:Tb	15 μm	画素分離無し	---	1.00	30%

(注 1) YT₂O₄ は紫外線発光の蛍光体

5 (注 2) *は比較例 (以下同じ)

実施例および従来例とも、単位画素のピッチは 150 μm、単位画素サイズは 130 μm × 130 μm とし (隔壁の幅が 20 μm)、シンチレータ層及び隔壁層の蛍光体の体積充填率は 0.5 (50%) とした。

10 フォトダイオードなどはプラズマ CVD 法およびフォトリソグラフィを用いて形成した。フォトダイオード上の電極膜は ITO をスパッタリング法で形成した。フォトダイオードは a-Si の PIN 構造で、380 乃至 720 nm 程度の波長範囲で感度を持ち、600 nm 近傍が感度のピークとなっている。また、シンチレータ層および隔壁層の膜厚は 30
15 0 μm となっている。

表 1 のサンプル 1 ~ 4 は本発明の構造で、いずれも隔壁層に蛍光材料が含まれている。サンプル 5 は蛍光材料が含まれない隔壁層を設けた構造で、サンプル 6 は隔壁層のない構造である。解像度特性は空間周波数 2 Lp/mm の MTF (%) で比較した。

表 1 から分かるように、隔壁層のないサンプル F の構造と比較した場合、従来例のサンプル E は輝度の低下が大きい。発明のサンプル A ～ D は、輝度の低下は 15 % 前後に留まっている。サンプル F は、隔壁層がないため輝度低下はないものの、解像度特性が極端に劣り、精細画像が
5 要求される X 線診断には使えないレベルになっている。

図 5 の Q は、隔壁層に含まれる蛍光材料の平均粒径（横軸、単位 μ m）と解像度特性の $2\text{ L p} / \text{mm}$ の M T F（縦軸、単位 %）との関係を示している。

M T F の値はある範囲にばらつきがあるため、符号 Q は所定の幅で示
10 されている。この図 4 から、蛍光材料の平均粒径が隔壁幅の $1 / 4$ である概ね $5\text{ }\mu\text{ m}$ 以下になると解像度特性の向上が顕著になることがわかる。

次に、シンチレータ層の膜厚と蛍光材料 I の平均粒径、隔壁内の壁厚と蛍光材料 II の粒径とを、それぞれ請求項 2、請求項 3 の範囲内としたサンプルと範囲外にしたサンプルを作成し、それぞれのサンプルについて
15 て輝度と C T F（解像度）を測定した。結果を表 2 に示す。なお、各サンプルは、 $150\text{ }\mu\text{ m}$ ピッチのフォトダイオード付き T F T 基板上に下記条件の画素分離シンチレータを作成したものである。また同表中の○は、請求項に示した式に該当するもの、×は請求項に示した式に該当しないものである。

20 また、表中の符号は、それぞれ次のものを示している。

T s : シンチレータ画素の膜厚

D s : シンチレータ層における蛍光材料 I の平均粒径

F s : シンチレータ層における蛍光材料 I の充填密度

T w : 隔壁の壁厚

25 D w : 隔壁内における蛍光材料、蛍光材料 III、非蛍光材料のいずれか 1 種以上の平均粒径

F w : 隔壁内における蛍光材料Ⅱ、蛍光材料Ⅲ、非蛍光材料
のいずれか 1 種以上の充填密度

(サンプル 7)

$D_s = 6 \mu m$ 、 $T_s = 200 \mu m$ 、 $F_s = 70\%$ 、画素分離無し構造

5 (サンプル 8)

$D_s = 40 \mu m$ 、 $T_s = 500 \mu m$ 、 $F_s = 50\%$

$D_w = 0.3 \mu m$ 、 $T_w = 20 \mu m$ 、 $F_w = 50\%$

(サンプル 9)

$D_s = 40 \mu m$ 、 $T_s = 500 \mu m$ 、 $F_s = 50\%$

10 $D_w = 2 \mu m$ 、 $T_w = 20 \mu m$ 、 $F_w = 50\%$

(サンプル 10)

$D_s = 15 \mu m$ 、 $T_s = 500 \mu m$ 、 $F_s = 50\%$

$D_w = 0.3 \mu m$ 、 $T_w = 20 \mu m$ 、 $F_w = 50\%$

(サンプル 11)

15 $D_s = 15 \mu m$ 、 $T_s = 500 \mu m$ 、 $F_s = 50\%$

$D_w = 2 \mu m$ 、 $T_w = 20 \mu m$ 、 $F_w = 50\%$

(サンプル 12)

$D_s = 1 \mu m$ 、 $T_s = 20 \mu m$ 、 $F_s = 50\%$

$D_w = 2 \mu m$ 、 $T_w = 40 \mu m$ 、 $F_w = 50\%$

20 各サンプルの特性を表 2 に示す。

[表 2]

サンプル	$D_s > D_w$	$D_s \geq T_s \cdot F_s / 10$	$D_w \leq T_w \cdot F_w / 10$	輝度(倍)	CTF(%)
7				1	40
8	○	○	○	1.7	45
9	○	○	X	1.7	30
10	○	X	○	0.8	45

11	○	X	X	0.9	33
12	X	○	○	0.05	75

同表から請求項 1 ～ 3 の要件を満たすサンプルが最も特性がよく、請求項 1、2 の要件を満たすサンプル、請求項 1、3 の要件を満たすサンプル、請求項 1 の要件だけを満たすサンプルの順に特性がよいことが分かる。サンプル 7、サンプル 12 は比較例である。

産業上の利用可能性

本発明は、画像特性を改善した X 線検出器およびその製造方法を実現できる。本発明の X 線検出器は、人体の胸部撮影の他、循環器や消化器などの診断にも適用可能である。また工業用の X 線検出器も適用可能である。更に、2 次元的に配列した平面検出器だけでなく、1 次元配列のライン検出器（X 線ラインセンサー）にも適用可能である。したがって、広い分野の産業上の利用可能性を有する。

請 求 の 範 囲

1. 画素単位の光電変換部と、前記光電変換部の各画素上に形成された
蛍光材料 I を含むシンチレータ画素と、前記シンチレータ画素間に設け
5 た蛍光材料及び／又は非蛍光材料を含む隔壁とを備えた X 線検出器にお
いて、

前記蛍光材料 I の平均粒径を D_s 、前記蛍光材料及び／又は非蛍光材
料の平均粒径を D_w としたとき、

$$D_s > D_w$$

- 10 であることを特徴とする X 線検出器。

2. 画素単位の光電変換部と、前記光電変換部の各画素上に形成された
蛍光材料 I を含むシンチレータ画素と、前記シンチレータ画素間に設け
た蛍光材料及び／又は非蛍光材料を含む隔壁とを備えた X 線検出器にお
いて、

- 15 前記シンチレータ画素の膜厚を T_s 、前記シンチレータ画素内におけ
る蛍光材料の平均粒径を D_s 、前記シンチレータ画素内における蛍光材
料 I の充填密度を F_s としたとき、

$$D_s \geq T_s \cdot F_s / 10$$

であることを特徴とする請求項 1 記載の X 線検出器。

- 20 3. 画素単位の光電変換部と、前記光電変換部の各画素上に形成された
蛍光材料 I を含むシンチレータ画素と、前記シンチレータ画素間に設け
た蛍光材料及び／又は非蛍光材料を含む隔壁とを備えた X 線検出器にお
いて、

- 25 前記隔壁の壁厚を T_w 、前記隔壁内における蛍光材料及び／又は非蛍
光材料の平均粒径を D_w 、前記隔壁内における蛍光材料及び／又は非蛍
光材料の充填密度を F_w としたとき、

$$D_w \leq T_w \cdot F_w / 10$$

であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の X 線検出器。

4. 前記蛍光材料 I を含むシンチレータ画素は、蛍光体材料 I の焼結体で形成されていることを特徴とする請求項 3 記載の X 線検出器。

5. 画素単位の光電変換部と、前記光電変換部の各画素上に形成された蛍光材料 I を含むシンチレータ画素と、前記シンチレータ画素間に設けた蛍光材料及び／又は非蛍光材料を含む隔壁とを備えた X 線検出器において、

前記隔壁は、前記シンチレータ画素内に含まれる蛍光材料 I と光学的特性が相違し、かつ前記蛍光材料 I の最短蛍光波長と等しいかそれよりも長い最長蛍光波長を有する蛍光材料 II を含有することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項記載の X 線検出器。

6. 画素単位の光電変換部と、前記光電変換部の各画素上に形成された蛍光材料 I を含むシンチレータ画素と、前記シンチレータ画素間に設けた蛍光材料及び／又は非蛍光材料を含む隔壁とを備えた X 線検出器において、

前記隔壁は、前記シンチレータ画素内に含まれる蛍光材料 I と光学的特性が相違し、かつ前記蛍光材料 I の最長蛍光励起波長と等しいかそれよりも短い最短蛍光波長を有する蛍光材料 III を含有することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項記載の X 線検出器。

7. 前記蛍光材料 I が、 Gd_2O_2S 又は CsI を母材とする蛍光材料であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項記載の X 線検出器。

8. 前記蛍光材料 II 又は III が、 Gd_2O_2S を母材とする蛍光材料であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 記載のいずれか 1 項記載の X 線検出器。

9. 前記蛍光材料Ⅲの最長蛍光波長が紫外領域にあることを特徴とする請求項6又は8記載のX線検出器。

10. 画素単位の光電変換部上にシンチレータ画素を形成する工程と、前記シンチレータ画素間に隔壁を形成する工程とを備えたX線検出器の

5 製造方法において、

前記画素単位の光電変換部上に蛍光材料Ⅰを含む層を形成する工程と、前記層から隔壁となる部分を除去して前記シンチレータ画素を形成する工程と、蛍光材料Ⅱ及び／又は蛍光材料Ⅲを含む材料を充填して前記隔壁を形成する工程とを備えたことを特徴とする請求項1乃至9のいずれ

10 か1項記載のX線検出器の製造方法。

11. 画素単位の光電変換部上にシンチレータ画素を形成する工程と、前記シンチレータ画素間に隔壁を形成する工程とを備えたX線検出器の製造方法において、

15 前記画素単位の光電変換部上に蛍光材料Ⅱ及び／又は蛍光材料Ⅲを含む層を形成する工程と、

前記層から前記隔壁となる部分以外の部分を除去して前記隔壁を形成する工程と、

20 前記隔壁を形成する工程で除去した部分に前記蛍光材料Ⅰを含む材料を充填して前記シンチレータ画素を形成する工程とを備えたことを特徴とする請求項1乃至9のいずれか1項記載のX線検出器の製造方法。

12. 画素単位の光電変換部上にシンチレータ画素を形成する工程と、前記シンチレータ画素間に隔壁を形成する工程とを備えたX線検出器の製造方法において、

25 前記画素単位の光電変換部上に樹脂材料等の有機材料又は金属材料等の無機材料により層を形成する工程と、前記層から前記隔壁となる部分を除去して樹脂材料又は金属材料による仮画素を形成する工程と、前記

仮画素を形成する工程で除去した部分に前記蛍光材料Ⅱ及び／又は蛍光材料Ⅲを含む材料を充填して前記隔壁を形成する工程と、

前記仮画素を除去する工程と、

- 5 前記仮画素を除去した部分に前記蛍光材料Ⅰを含む材料を充填して前記シンチレータ画素を形成する工程とを備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項記載の X 線検出器の製造方法。

1 3. 画素単位の光電変換部上にシンチレータ画素を形成する工程と、前記シンチレータ画素間に隔壁を形成する工程とを備えた X 線検出器の製造方法において、

- 10 前記画素単位の光電変換部上に樹脂材料等の有機材料又は金属材料等の無機材料により層を形成する工程と、

前記層から隔壁となる部分以外の部分を除去して樹脂材料又は金属材料による仮隔壁を形成する工程と、

- 15 前記仮隔壁を形成する工程で除去した部分に前記蛍光材料Ⅰを含む材料を充填して前記シンチレータ画素を形成する工程と、

前記仮隔壁を除去する工程と、

前記仮隔壁を除去した部分に蛍光材料Ⅱ及び／又は蛍光材料Ⅲを含む材料を充填して前記隔壁を形成する工程とを備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項記載の X 線検出器の製造方法。

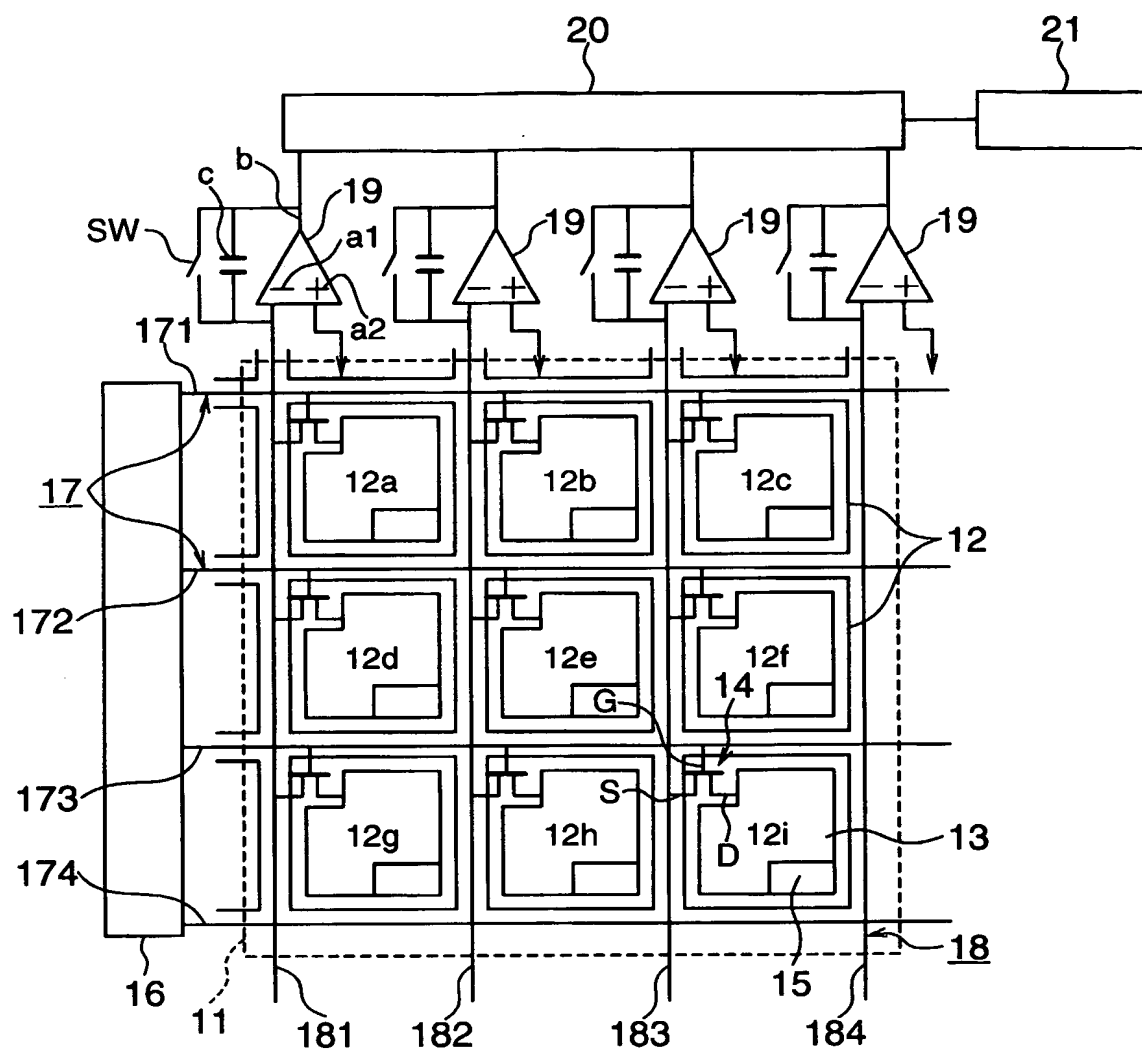


FIG. 1

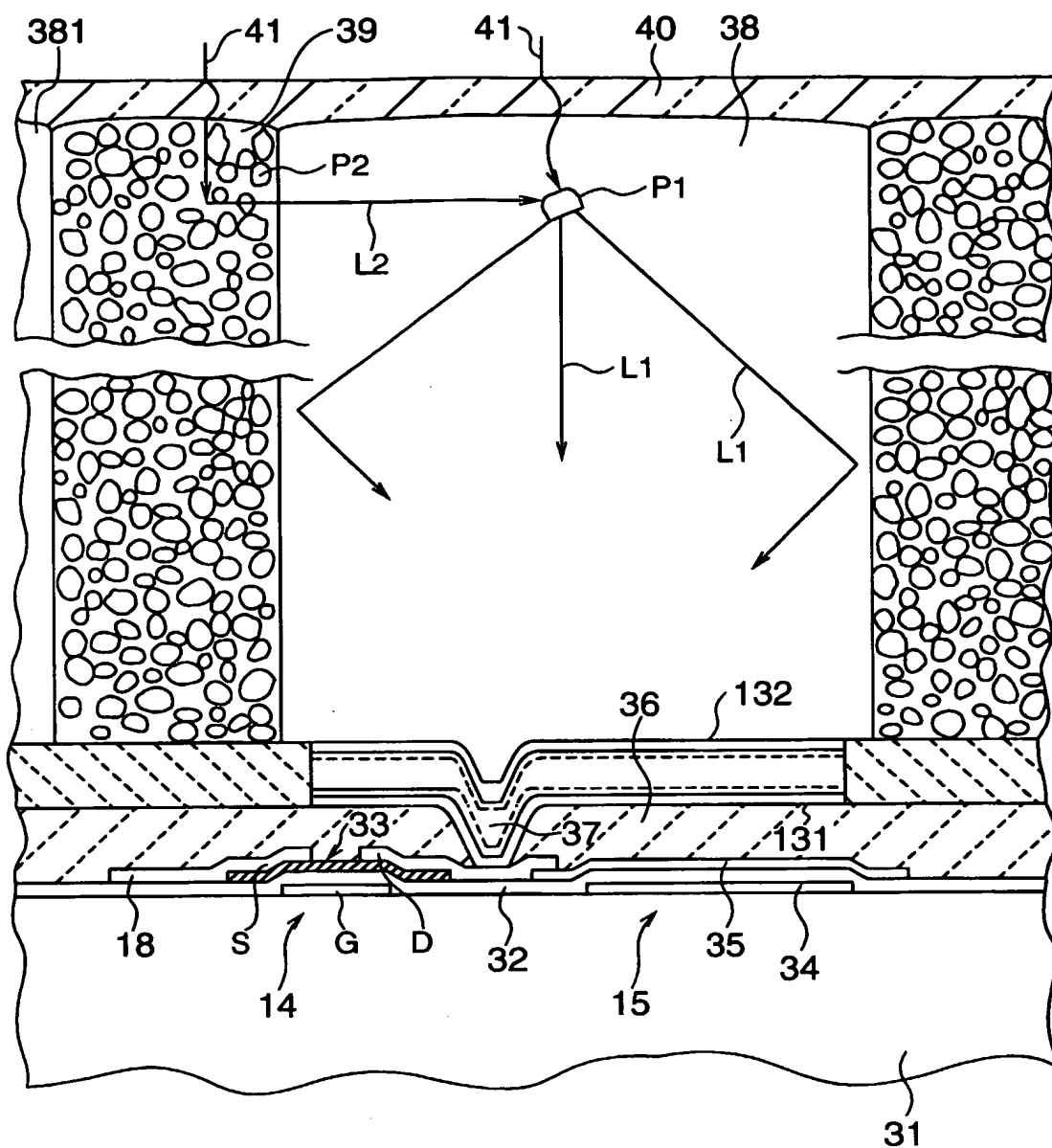


FIG. 2

TiO₂膜厚20 μm

粒径 (μm)	T · F / D	反射率 (%)	透過率 (%)
0.1	100	94	6
0.5	20	94	6
1	10	90	10
2	5	83	17
4	2.5	71	29

FIG. 3A

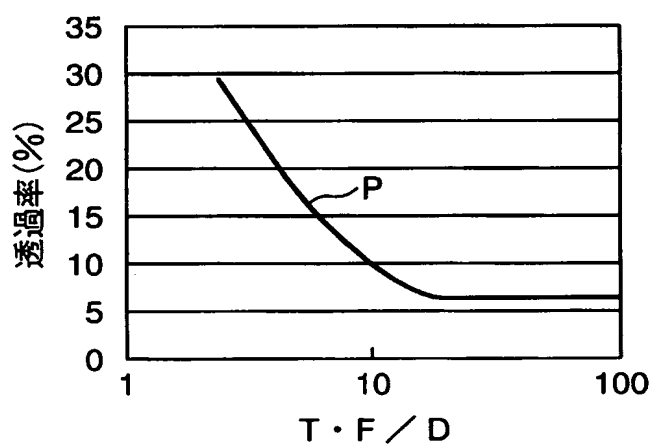


FIG. 3B

Ds/Dw	輝度 (arb.units)
1	14.3
7.5	21.2
12.5	27.8
20	37.5

FIG. 4A

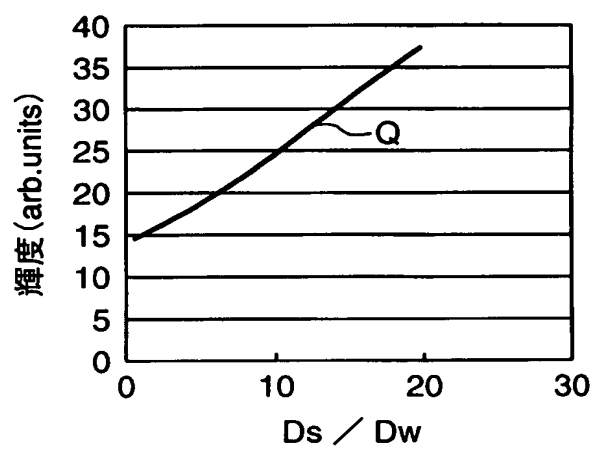


FIG. 4B

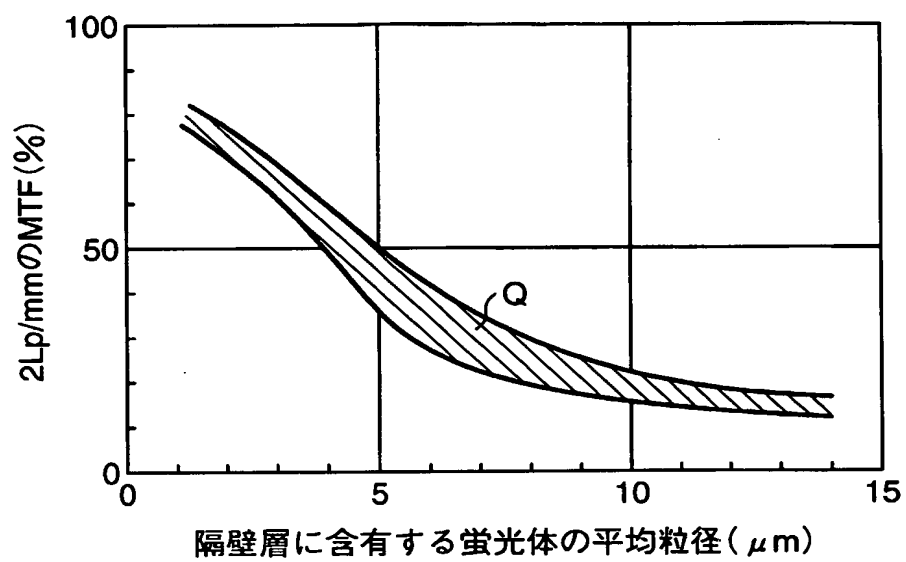


FIG. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/03952

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G01T1/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G01T1/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2001-220232 A (General Electric Co.), 14 August, 2001 (14.08.01), Full text; all drawings & US 6361735 B1	1, 3, 4, 10-13 2, 5-9
Y	JP 61-17082 A (Toshiba Corp.), 25 January, 1986 (25.01.86), Full text; all drawings (Family: none)	7, 8
Y	JP 2000-284053 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 13 October, 2000 (13.10.00), Full text; all drawings (Family: none)	7, 8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
01 July, 2003 (01.07.03)

Date of mailing of the international search report
22 July, 2003 (22.07.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G01T1/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G01T1/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996
 日本国公開実用新案公報 1971-2003
 日本国登録実用新案公報 1994-2003
 日本国実用新案登録公報 1996-2003

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	J P 2001-220232 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニー) 2001. 08. 14 全文, 全図 & US 6361735 B1	1, 3, 4, 10-13 2, 5-9
Y	J P 61-17082 A (株式会社東芝) 1986. 01. 25 全文, 全図 (ファミリーなし)	7, 8
Y	J P 2000-284053 A (株式会社浜松ホトニクス) 2000. 10. 13 全文, 全図 (ファミリーなし)	7, 8

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01. 07. 03

国際調査報告の発送日

22.07.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

岡崎 輝雄

2M

9715

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.